

EL MODELADO Y SIMULACIÓN EN DINÁMICA DE SISTEMAS COMO HERRAMIENTA DE INNOVACIÓN EDUCATIVA

Gonzalo Tudela Martín, Luis Javier de Miguel González

Departamento de Informática. Escuela Politécnica. Universidad Europea Miguel de Cervantes.
C/ Padre Julio Chevalier, 2 47012 Valladolid, España
Teléfono: (+34) 987 001000. Extensión: 304. E-mail: gtudela@uemc.es

Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática. E.I.I. Universidad de Valladolid
Paseo del Cauce, s/n, 47011 Valladolid, España
Teléfono: (+34) 983 423545. Fax: (+34) 983 423358. E-mail: luimig@eis.uva.es

Resumen

En este trabajo se describe la contribución de la dinámica de sistemas, como herramienta en el modelado y simulación para el apoyo del aprendizaje del alumnado. En la actualidad la contribución de la informática como herramienta fundamental es un hecho, y por ello lo se pretende es mostrar como una aplicación informática basada en la dinámica de sistemas, sirve como sistema de apoyo al proceso de enseñanza-aprendizaje. Para ello se realizara un estudio de casos, para una asignatura en concreto inscrito en la educación secundaria (bachiller).

Abstract

In this project is described the contribution of the Systems dynamic as a toll in the modeling an simulation to support the students learning. Nowadays, the informatics contribution as a hey tool is a fact and, therefore, the aim is to show how a computer application based on systems dynamic serves as a support system to the teaching-learning process. For this purpose, it will be made a study of different cases for a specific subject enrolled in secondary in secondary education.

1.Introducción

La búsqueda de la innovación educativa, en concreto la tecnología educativa debería ser incorporada como un insumo para cubrir las demandas específicas de un verdadero proyecto educativo institucional (no tiene que ser una simple colección de artefactos agregados a cualquier tipo de contexto institucional). La conducción escolar debe ser gestionar la innovación y prever las demandas de insumos tecnológicos de cada proyecto innovador. Es indispensable capacitar al personal docente a fin de que conozca el recurso tecnológico y lo utilice en su máxima potencialidad. Es necesario desarrollar las “tecnologías blandas” tendientes a mejorar la gestión y la consolidación de una cultura interna acorde con una idea pedagógica. Las tecnologías de la información y la comunicación son un insumo para facilitar la búsqueda de la innovación pedagógica [1]. De esta búsqueda permanente en la innovación educativa surge la idea de aplicar herramientas de software en la dinámica de sistemas, para modelar el comportamiento en muchas de los contenidos académicos que el alumno se pueda encontrar y que de esta forma sirva de catalizador en el desarrollo de su aprendizaje.

En este artículo se describe los siguientes temas a tratar:

- La dinámica de sistemas, herramienta de apoyo al aprendizaje
- El modelado y simulación en el aula, con un software informático
- Caso práctico (caso de estudio) paso a paso la realización de varios modelos de dinámicas de sistemas, basado en la temática elegida, en este caso como elemento a estudio “las Energías Renovables y no Renovables en la sociedad” y la discusión de los resultados a través de diferentes simulaciones.

De esta forma el alumno con los datos actuales sobre energía, emisiones de CO₂, así como todas las variables necesarias para la construcción de los modelos, puede elaborar sus propios sistemas, viendo el comportamiento y evolución dentro de unos años de estas variables, siendo una labor muy completa para el alumno, ya que:

1.Toma de datos estadísticos para la simulación, energía renovable y no renovables, de páginas web en internet (fuentes; IDAE, Ministerio de Industria y Energía, libros,...) de esta actividad el alumno investiga los datos necesarios, por lo tanto una labor

de investigación e indagación de diferentes fuentes para la obtención de datos estadísticos, necesarios para posteriormente ser introducidos en los modelos de simulación.

2.Comprender el sistema objeto de la construcción del modelo, por lo tanto necesario el estudio previo de la relación y los datos de las variables que afectan al sistema, en nuestro caso las diferentes fuentes energéticas, energías renovables y no renovables. Hasta aquí el alumno ha tenido que comprender lo estudiado y asimilar dichos conceptos para el desarrollo eficaz del modelo.

3.Representación del modelo, necesario conocer la aplicación informática, para llevar a cabo la representación del modelo para la dinámica de los sistemas. En esta actividad el alumno interactúa con aplicaciones informáticas, necesarias en su futuro profesional.

4.Representación de escenarios futuros y conclusiones, a través de las simulaciones, con lo que el alumno puede ver las tendencias que suponen la toma de decisiones en algunas variables y como pueden influir en otras, por ejemplo el incremento de las emisiones de CO₂, al incrementar el consumo del carbón (modelo 1).

Como caso de estudio se ha analizado para los contenidos de una asignatura de tecnología industrial I de 1ª de bachillerato, con el siguiente programa para la asignatura:

1. El proceso y los productos de la tecnología
2. Materiales
3. Elementos de máquinas y sistemas
4. Procedimientos de fabricación
5. Recursos energéticos:

– Obtención, transformación y transporte de las principales fuentes de energía. Fuentes de energía renovable y no renovable.

– Montaje y experimentación de instalaciones de transformación de energía.

– Consumo y ahorro energético. Técnicas y criterios de ahorro energético.

Desarrollo

El modelado y la simulación se encuentra dentro de la Ingeniería de sistemas donde la conceptualización empezó cuando se hizo aparente que el potencial social de las máquinas como

herramientas es mucho menos importante que las posibilidades creadas cuando se combinan máquinas de funciones algo distintas, aunque complementarias. Esta apreciación está dando lugar a una nueva era, que se conoce cada vez más como la << Era de los Sistemas >>. Definimos la ingeniería de sistemas como un método de resolución de problemas complejos donde figura la tecnología, sin estar limitado a ella, en el contexto de los entornos físicos, sociales, económicos y culturales en los que estos problemas existen; para ello, se usan metodologías de utilidad actual y potencial en el proceso de toma de decisiones en los sectores públicos y privados. No podemos exagerar la importancia, en la creación de sistemas de ingeniería, de los aspectos sociales, económicos, culturales y del entorno [2].

Dentro de la ingeniería de sistemas se encuentra:

- Programación lineal
 - La econometría
 - El análisis de entradas y salidas
 - La simulación estocástica
 - La dinámica de sistemas (modelado y simulación)
- La d

inámica de sistemas usa conceptos del campo del control realimentado para organizar información en un modelo de simulación por ordenador. Un ordenador ejecuta los papeles de los individuos en el mundo real. La simulación resultante revela implicaciones del comportamiento del sistema representado por el modelo [3].

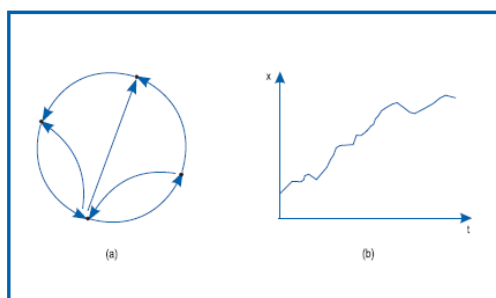


Figura 1: Imágenes básicas de la estructura (a) y del comportamiento de un sistema (b). Fuente: Libro “Dinámica de sistemas aplicada” [2].

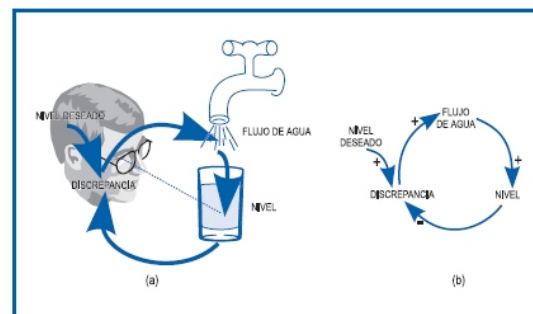


Figura 2: Diagrama básico del proceso de llenar un vaso de agua (a) con un grafo orientado (b) con un grafo asignado. Fuente: Libro “Dinámica de sistemas aplicada” [2].

Veamos mediante un sencillo ejemplo cómo podemos analizar la estructura sistémica de un proceso. Supongamos el hecho elemental de llenar un vaso de agua. En la Figura 2 se muestra una ilustración gráfica de ese proceso. Su descripción, en lenguaje ordinario, es muy simple: el que llena el vaso de agua, mediante la observación del nivel alcanzado en el vaso, actúa sobre el grifo, de modo que lo va cerrando según se alcanza el nivel que estima oportuno. El proceso que tiene lugar lo describiríamos como sigue: el agente (el que llena el vaso) compara el nivel alcanzado en el vaso con el nivel deseado, si existe discrepancia actúa sobre el grifo, con lo que se influye sobre el nivel alcanzado, que es de nuevo comparado (en realidad se trata de un proceso continuo) con el nivel deseado; según disminuya la discrepancia, se irá cerrando el grifo, hasta que al anularse esta, se cierre definitivamente. Todo modelo se construye con el fin de ayudar a resolver un problema concreto. En consecuencia, la explotación del modelo consistirá precisamente en valerse de él para resolver ese problema. Sin embargo, esa explotación puede tomar formas variadas. En algunos casos, el modelo permite hacer predicciones. Es decir, alcanza un nivel de precisión tan elevado que nos permite emplearlo para predecir con exactitud qué valores tomarán algunas magnitudes en un instante de tiempo determinado del futuro. Estos modelos predictivos presuponen que el modelo tenga una gran precisión, tanto por lo que respecta a los valores de los parámetros, como a las relaciones funcionales que incluye. Este grado de precisión se alcanza normalmente en las ciencias físicas, por lo que es en este ámbito donde se dan con mayor frecuencia este tipo de modelos. Ello no excluye que en determinados problemas de las ciencias sociales puedan hacerse también predicciones, pero estas no suelen tener el grado de aceptación de las que se logran en las ciencias físicas [4].

Por lo tanto en el caso que nos ocupa las Energías Renovables y no Renovables, al ser un ámbito de ciencias físicas nuestro modelo se va a acercar a la realidad, con lo que el alumno, va a poder darse cuenta de la realidad de forma

fehaciente. Con ello no pretendemos realizar estudios rigurosos sobre posibles escenarios en el plan energético español dentro de sus diferentes tipos de energía, tan sola la conceptualización en forma de modelo de contenidos teóricos impartidos en el aula, que sirva como catalizador del proceso de enseñanza aprendizaje, pudiendo el alumno interactuar con dicho modelo a través de la introducción de datos, ecuaciones de comportamiento e interrelación de las diferentes variables que en el modelo tengan lugar. Otra de las posibles utilidades de los modelos de simulación, especialmente cuando incorporan una cierta imprecisión, consiste en emplearlos no tanto para hacer predicciones concretas de valores numéricos precisos para determinadas magnitudes, sino para analizar las tendencias de evolución de esas magnitudes. Así, se trata de establecer si una magnitud tiende a crecer, a decrecer, a oscilar, o a permanecer invariable. Por último, el tercer uso posible de los modelos consiste en emplearlos como instrumentos para analizar los distintos modos de comportamiento que puede mostrar ese sistema energías renovables y no renovables. Este uso se encuentra en la actualidad muy generalizado y consiste en emplearlos como bancos de prueba para el aprendizaje.

En este sentido se ha propuesto aplicar el concepto de micromundo (microworld) de Seymour Papert, de acuerdo con este autor el proceso de aprendizaje se refuerza cuando se dispone de objetos adecuados con los que se mantiene una interacción que, en alguna medida, recuerda a un juego. Estos objetos pueden desarrollarse informáticamente, y en particular, Papert empleó el logo para la enseñanza de la geometría a niños. Se ha propuesto emplear estas mismas ideas en el ámbito de la dinámica de sistemas para que los directivos de las empresas puedan organizar sus estrategias empresariales, con ayuda de modelos de simulación, que les sirvan para ensayar esas estrategias y reelaborarlas como consecuencia de la interacción que se tiene con el modelo de simulación que las incorpora [5]. De este modo se crea un entorno de aprendizaje en el que el directivo puede ensayar las potenciales políticas que trate de aplicar para resolver los problemas de su empresa. El desarrollo de micromundos goza en la actualidad de un gran desarrollo, y se considera una de las líneas de aplicación de la dinámica de sistemas más prometedoras [6][7].

Resultado

En el primer modelo vamos a introducir:

- Emisiones de CO₂ dependientes de la absorción y la producción de CO₂.
- Analizamos la producción de carbón como fuente de energía no renovable

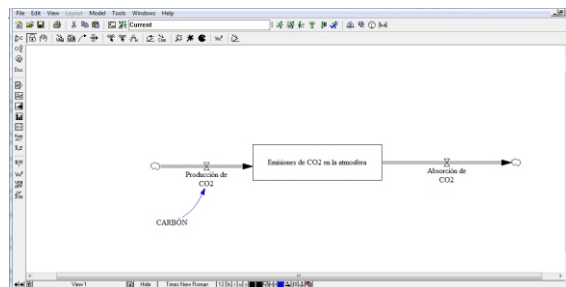


Figura 3: Interfaz de la aplicación de modelado y simulación en dinámica de sistemas, para el modelo de emisiones de CO₂. Fuente: Elaboración propia.

Emisión de CO₂ en la atmósfera que depende de la producción y absorción, partimos del dato obtenido en el año 2005 en España es de 440,64 millones de toneladas [8] y de ahí parte la simulación hasta el año 2020.

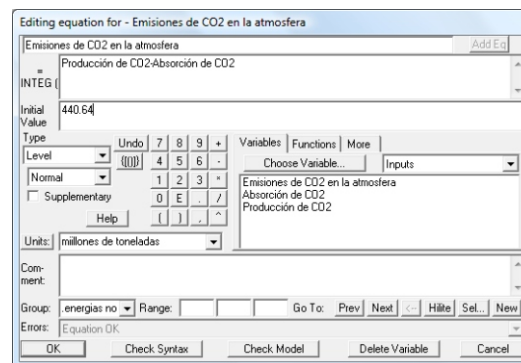


Figura 4: Interfaz de la aplicación para la introducción de datos y ecuaciones, en el modelado para las Emisiones de CO₂. Fuente: Elaboración propia.

Hasta aquí, hemos conseguido realizar el modelo, desde el diseño a la introducción de datos. El alumno para introducir los datos debe obtenerlos de fuentes como en este caso Ministerio de Industria, turismo y comercio [9], realizando así una labor de investigación y de búsqueda de datos para su modelo, discriminando aquellas fuentes que son más fiables, frente a otros que si lo son. Ahora queda el proceso de simulaciones y análisis de los datos (gráficos y tablas), donde el alumno ve los datos y el crecimiento de las emisiones al mantener la producción en aumento, con lo que se hace su imagen visual, de los conceptos impartido en el aula, y puede simular diferentes escenarios como el incremento de la producción y la repercusión en la emisiones, de esta manera el alumno asienta los conceptos teóricos.

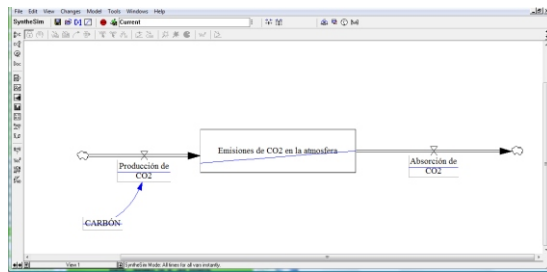


Figura 5: Interfaz de la simulación de la aplicación en el modelo para las Emisiones de CO2. Fuente: Elaboración propia.

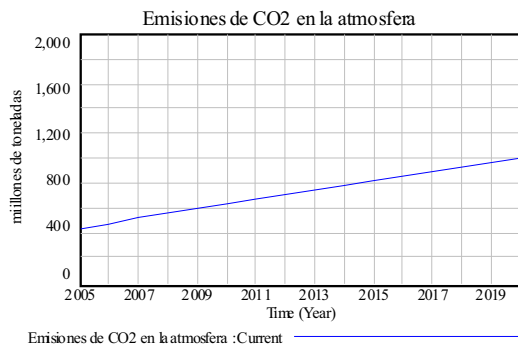


Figura 6: Resultado en forma de gráfico de la simulación para la variable Emisiones de CO2 en la atmósfera. Fuente: Elaboración propia.

Como posible ejercicio para el alumno se le puede plantear el estudio de los modelos, para la simulación de varios casos (escenarios):

- o ¿Qué va a pasar si seguimos en las mismas tasas de emisiones de CO2 en el 2020?
- o ¿Crees que el carbón incrementa o disminuye emisiones de CO2 ambiente?
- o ¿Qué alternativas propones para que esto no pase?

Para interactuar con el modelo, podemos simular diferentes escenarios, para que el alumno asimile mejor los conceptos impartidos en el aula, como por ejemplo nos planteamos que pasaría si disminuimos a la mitad 9.8/2 la contribución del % del carbón como fuente de energía no renovable en las emisiones de CO2, viendo cómo afectaría al sistema. Ahora vemos lo que ocurre sobre el modelo (figura 7).

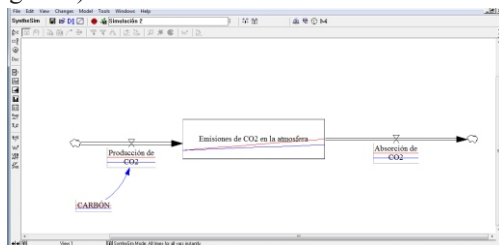


Figura 7: Simulación para los dos escenarios, al disminuir a la mitad la producción de carbón. Fuente: Elaboración propia.

Donde la simulación anterior es de color rojo y es la simulación 1 y la simulación actual con la disminución a la mitad de producción de carbón es la simulación 2, vemos los gráficos:

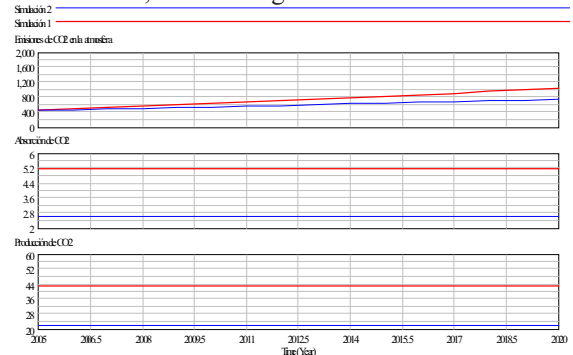


Figura 8: Gráficos para la simulación para los dos escenarios, al disminuir a la mitad la producción de carbón y la repercusión de este cambio en el resto de las variables. Fuente: Elaboración propia.

Donde podemos ver la disminución en casi un 25% al disminuir la producción de energía proveniente del carbón a la mitad. El alumno puede deducir como las emisiones de CO2 en la atmósfera en el 2020 según la producción actual de energía por carbón es de 1.010 millones de toneladas, mientras que el reducir a la mitad supone una contribución de 725,64, que representa una reducción del 25%. Tomando sus conclusiones y elaborando un pensamiento constructivo para su análisis. Hasta aquí hemos visto como en un mismo modelo varias simulaciones tomando conclusiones de los datos, dentro de un espíritu crítico de los mismos, y usando la teoría impartida en las clases magistrales. En el segundo modelo vemos la contribución de la energía primaria procedente de tanto Energías Renovables como las no Renovables, donde se desagrega la contribución de las diferentes fuentes.

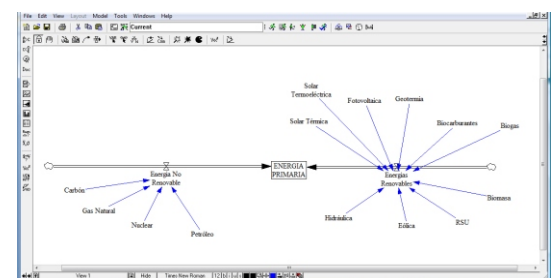


Figura 9: Segundo modelo de simulación. Fuente: Elaboración propia.

Para ello analizamos la introducción de las ecuaciones de cada variable, en este caso las No Renovables y la ecuación asociada con sus diferentes contribuciones a la misma.

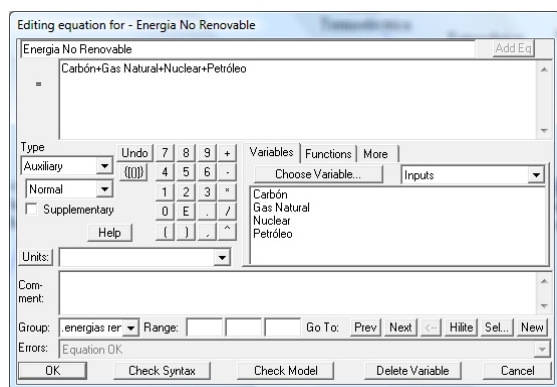


Figura 10: Editor de ecuaciones para la variable Energía No Renovable. Fuente: Elaboración propia

Lo mismo para las Energías Renovables:

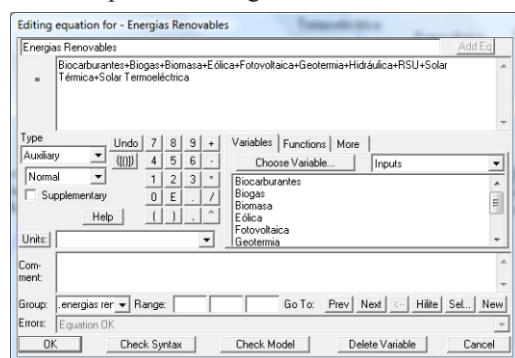


Figura 11: Editor de ecuaciones para la variable Energía Renovables. Fuente: Elaboración propia

He introducimos la contribución de cada tipo de energía desde un año, en este caso el 2005, para ello vamos a consultar los datos a distintas fuentes en nuestro caso al ministerio de industria y energía [10]. Para ello realizamos el estudio del aporte de energía primaria por parte de este tipo de energías (renovables y no renovables):

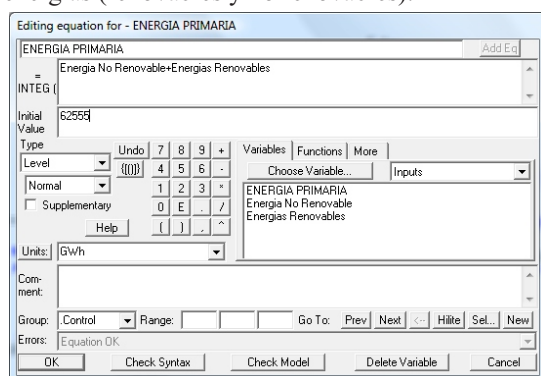


Figura 12: Editor de ecuaciones para la variable Energía Primaria. Fuente: Elaboración propia

Una vez introducido el diseño del modelo (esquema) y relacionar las variables que se encuentran (editor de ecuaciones), realizamos una introducción de datos. [10]

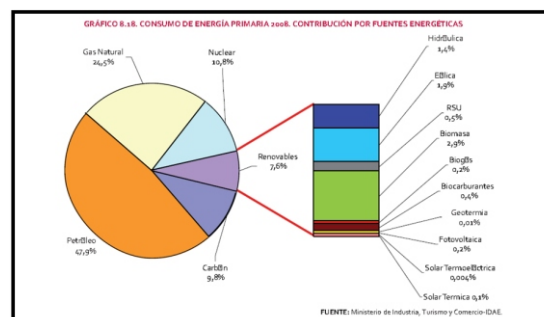


Figura 13: Datos estadísticos obtenidos del plan energético español para el 2005 para las energías renovables. Fuente: IDAE

ENERGIAS-NO-RENOVABLES

Gas-natural	24,50
Nuclear	10,80
Petróleo	47,90
Carbón	9,80
Total	93,00

Figura 14: Datos estadísticos obtenidos del plan energético español para el 2005 para las energías no renovables. Fuente: IDAE

Por lo tanto al igual que en el primer modelo, el alumno ha tenido que realizar un estudio previo de las fuentes de energía y su contribución entre ellas para diseñar el modelo, hacer un diseño el modelo introduciendo las varias y su interacción ir a consultar los datos a diferentes fuentes (internet, libros, revistas...). Con esto finalizamos el proceso de modelado y pasamos al de simulación que sería igual que el caso anterior (modelo1), donde moviendo pinchando sobre la fecha donde indica el valor podemos ir variando los valores, dando lugar a diferentes simulaciones, con lo que se ve la utilidad de este tipo de enseñanza basada en la dinámica de sistemas [11][12].

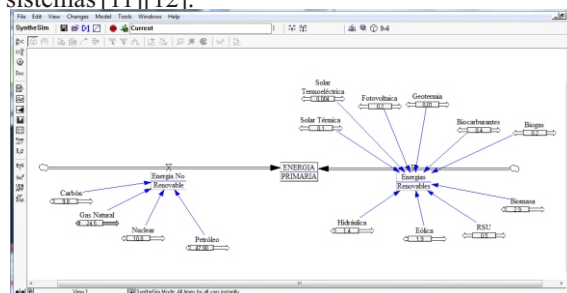


Figura 15: Simulación del modelo. Fuente: Elaboración propia

Discusión crítica y conclusiones En este artículo se pretende poner de relieve la contribución de las aplicaciones informáticas en el modelado y simulación dentro de la dinámica de sistemas, como herramienta de apoyo al aprendizaje del alumno, donde este es capaz de realizar sus propios modelos y simularlos a partir de unos conocimientos teóricos, que

obligatoriamente anteriormente a tenido que aprender, reforzando así el método de enseñanza-aprendizaje. A mi entender es una herramienta motivadora ya que el alumno, desde un primer momento construye su propio modelo y puede entrar con su grupo o a nivel individual a analizar los resultados. Si analizamos por cada tipo de métodos y medios pedagógicos [13][14]:

- Lección magistral; Una vez introducida la lección magistral como he reflejado en el trabajo, donde se desarrollan los conceptos teóricos, acerca de las diferentes fuentes de energías renovables y no renovables (con pizarra, transparencias...).

- Actividades en pequeños grupos; podemos agrupar alumnos (de 2 a 3 personas) de manera heterogénea y entre ellos que realicen las simulaciones, y puedan realizar un aprendizaje basado en pares, asimilando lo que en la clase teórica (lección magistral) se ha impartido, y que es necesaria en ese momento para llevar a cabo el modelo.

- Demostraciones prácticas; a través de una clase práctica donde enseñaremos al alumno interactuar con la aplicación, como hemos visto en este trabajo, se trata de una aplicación muy sencilla, para nuestro ámbito (alumnos de bachillerato).

- Trabajos prácticos; debido nuestro software de simulación es una aplicación muy extendida con licencias gratuitas para estudiantes, el alumno va a poder practicar en su casa.

- Modelos y simulaciones de ordenador; este punto es la esencia de este trabajo ya que va sobre todo dirigido a este proceso de enseñanza.

- Enseñanza asistida por ordenador; La informática como herramienta transversal es una disciplina común a todas y de ahí su necesidad de ser fomentada y apoyada por todos los docentes, en cualquier disciplina. Aquí se ha tratado diferentes autores (Papert) y su necesidad de la metodología constructivista, donde el alumno es autor de su proceso de aprendizaje.

- Estudio de casos; podemos realizar varios ejemplos prácticos de otros modelos realizados, como el desarrollado en este trabajo acerca del modelado.

- Resolución de ejercicios y problemas; podemos plantear al alumnado posibles ejercicios y problemas para que a través de esta herramienta (modelado y simulación) la lleven a cabo.

- Aprendizaje basado en problemas; el alumno puede aprender a modelar planteándoles diferentes casos y poco a poco según vaya viendo diferentes casos, va a poder ir mejorando en sus procesos de modelado.

- Aprendizaje basado en proyectos; al alumno se le puede orientar a la creación de un proyecto en el cual utilice esta herramienta, en la cual realice una planificación, estimación, estudio previo, recogida de datos estadísticos...cuya misión sea simular un proceso.

- Aprendizaje cooperativo; el alumno puede trabajar tanto en clase como en casa con sus compañeros, introduciendo los modelos y tomando conclusiones de los mismos en conjunto, ampliando así las habilidades y competencias en el trabajo en grupo.

Analizando por competencias se obtiene el reforzamiento den muchas de ellas como en la capacidad de análisis y síntesis, ya que el alumno tiene que resumir las variables objeto de estudio para su sistema, la capacidad de organización y planificación para poder crear un modelo acorde al sistema, conocimientos de informática, relativos al ámbito de estudio ya que el alumno sigue utilizando como herramienta más importante el ordenador, la capacidad de gestión de la información donde existe muchas variables, resolución de problemas a través de la resolución con modelos, la toma de decisiones ya que debe tener claro el alumno las ecuaciones que gobiernan el sistema, el trabajo en equipo, es indudable que la construcción de modelos se necesitan varias personas, en el ámbito profesional incluso equipos multidisciplinar, el razonamiento crítico, al tener que tomar conclusiones sobre los datos obtenidos en las simulaciones, aprendizaje autónomo, puede trabajar el alumno solo en su casa, a su ritmo, la adaptación a nuevas situaciones, diferentes modelos para diferentes sistemas, motivación por la calidad, ya que si el modelo no es adecuado, o las variables se han introducido equivocadamente, no va a funcionar, orientación a resultados la obtención de gráficos y tablas. Una vez analizado por diferentes metodologías y aplicándolo al estudio por competencias, concluimos que el modelado y simulación en la dinámica de sistemas es un método muy apropiado para el reforzamiento del proceso enseñanza y aprendizaje para el alumno.

Bibliografías

- [1] Moschen J.C.; "Innovación Educativa Decisión y búsqueda permanente" Editorial Bonum, Buenos Aires (2008) pag.108
- [2] Donald R. Drew "Dinámica de sistemas aplicada" (1995).
- [3] Texto inédito: Jay Forrester (Univesidad de Sevilla, España) diciembre de 1998
<ftp://sysdyn.mit.edu/ftp/sdep/papers/D-4808.pdf>
- [4] Aracil J.; "Dinámica de sistemas" (2000).
- [5] Pérez Ríos, J., "Dirección estratégica y pensamiento sistémico", Universidad de Valladolid (1992).
- [6] Morecroft, J. y J. Sterman, Modeling for Learning Organizations, Productivity Press, 1994.
- [7] Teoría y ejercicios prácticos de Dinámica de Sistemas. Juan Martín García (2000).
- [8] <http://www.edufuturo.com/educacion.php?c=2811> (2011).
- [9] Greenpeace España
<http://www.greenpeace.org/espana/> (2011).
- [10] Plan energético español 2008.
<http://www.mityc.es/energia/es-ES/Paginas/index.aspx>

- [11] De Castro Carranza C. y De Miguel González L.J.; Tesis doctoral “Escenarios de Energía-Economía Mundiales con modelos de dinámica de Sistemas” (2010).
- [12] Tudela Martín G. y De Miguel González L.J.; “Forecasting Spanish CO2 Emissions based on Kaya Identity” 4 ° Congreso Internacional de la Energía e Ingeniería de Medio Ambiente y Gestión en Mérida (Abril 2011).
- [13] Martín Pérez P.; “ Métodos y medios pedagógicos” (2010).
- [14] Modalidades y métodos de enseñanza – aprendizaje (*) Alejandra Martínez Monés MASUP – Uva (*) Basado en de Miguel (coord.), (2005).